

**METHOD FOR PRODUCING BENT GLASS PLATE, EVALUATION OF GLASS PLATE AND SELECTION OF FORMING CONDITION OF GLASS PLATE**

Patent Number: JP2000351639  
Publication date: 2000-12-19  
Inventor(s): INOUE NOBUHIRO; YAJIMA TATSUO  
Applicant(s): ASAHI GLASS CO LTD  
Requested Patent: ☐ JP2000351639  
Application Number: JP19990162708 19990609  
Priority Number(s):  
IPC Classification: C03B23/03  
EC Classification:  
Equivalents:

**Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enable the evaluation of the bent form of a glass plate before the bending work and save the trial manufacture period and cost.

**SOLUTION:** Mesh models of a glass plate and a forming member are prepared (S2, S3), various forming conditions on the forming procedure, etc., are inputted (S4) and a bending work is simulated (S5). The deviation from the desired design form and the generation of wrinkle are evaluated from the simulation result (S7, S8) and the optimum forming condition is determined (S9).

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-351639

(P2000-351639A)

(43) 公開日 平成12年12月19日 (2000. 12. 19)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
C 0 3 B 23/03

識別記号

F I  
C 0 3 B 23/03

テーマコード\* (参考)  
4 G 0 1 5

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-162708

(22) 出願日 平成11年6月9日 (1999. 6. 9)

(71) 出願人 000000044

旭硝子株式会社

東京都千代田区有楽町一丁目12番1号

(72) 発明者 井上 伸宏

神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地  
旭硝子株式会社内

(72) 発明者 矢島 辰雄

神奈川県愛甲郡愛川町角田字小沢上原426  
番1 旭硝子株式会社内

(74) 代理人 100073874

弁理士 萩野 平 (外4名)

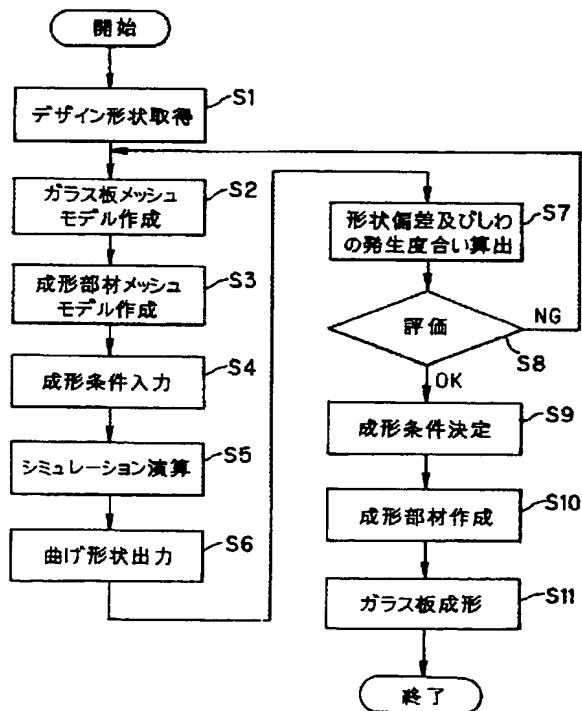
Fターム(参考) 4G015 AA00 AB10

(54) 【発明の名称】 ガラス板の曲げ形状を得る方法、ガラス板の評価方法及びガラス板の成形条件選定方法

(57) 【要約】

【課題】 事前にガラス板の曲げ形状を評価可能にし、試作期間やコストを削減する。

【解決手段】 ガラス板と成形部材のメッシュモデルを作成し (S2, S3)、成形手法等に関する他の成形条件を設定入力して (S4)、曲げ成形シミュレーション演算を行う (S5)。結果より所定のデザイン形状からの形状偏差としわの発生度合いを評価し (S7, S8)、適切な成形条件を決定 (S9) する。



**【特許請求の範囲】**

**【請求項1】** ガラス板を加熱して曲げ成形するにあたり、実際のガラス板の曲げ成形とは別に曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得るための方法であって、曲げ成形されるガラス板の形状、前記ガラス板の曲げ成形温度、前記ガラス板の物性値、前記ガラス板を曲げ成形するための成形部材に関するデータ、前記成形部材を用いたガラス板の曲げ成形手法に関するデータを含む成形条件を設定する成形条件設定ステップと、前記成形条件に基づいてシミュレーション演算を行い、演算結果として前記成形条件により曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得る演算ステップと、を有することを特徴とするガラス板の曲げ形状を得る方法。

**【請求項2】** ガラス板を加熱して曲げ成形するにあたり、実際のガラス板の曲げ成形とは別に曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得て、該ガラス板の曲げ形状を評価するガラス板の評価方法であって、曲げ成形されるガラス板の形状、前記ガラス板の曲げ成形温度、前記ガラス板の物性値、前記ガラス板を曲げ成形するための成形部材に関するデータ、前記成形部材を用いたガラス板の曲げ成形手法に関するデータを含む成形条件を設定する成形条件設定ステップと、前記成形条件に基づいてシミュレーション演算を行い、演算結果として前記成形条件により曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得る演算ステップと、前記得られた曲げ形状の情報に基づいてガラス板の形状偏差としわの発生度合いとを算出し、これらが許容値内か否かを判定してガラス板の曲げ形状を評価する評価ステップと、を有することを特徴とするガラス板の評価方法。

**【請求項3】** ガラス板を加熱して曲げ成形するにあたり、実際のガラス板の曲げ成形とは別にガラス板の曲げ成形条件を選定するガラス板の成形条件選定方法であって、曲げ成形されるガラス板の形状、前記ガラス板の曲げ成形温度、前記ガラス板の物性値、前記ガラス板を曲げ成形するための成形部材に関するデータ、前記成形部材を用いたガラス板の曲げ成形手法に関するデータを含む成形条件を設定する成形条件設定ステップと、前記成形条件に基づいてシミュレーション演算を行い、演算結果として前記成形条件により曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得る演算ステップと、前記得られた曲げ形状の情報に基づいてガラス板の形状偏差としわの発生度合いとを算出し、これらが許容値内となるように成形条件のうちの少なくとも成形部材に関する条件または成形手法を特定することによって適切な成形条件を選定する選定ステップと、を有することを特徴とするガラス板の成形条件選定方法。

**【請求項4】** 前記成形条件設定ステップにおいて、成形部材に関する条件と成形手法とを複数の組み合わせで設定し、前記選定ステップにおいて、設定した組み合わせの中から最適のものを選定することを特徴とする請求項3に記載のガラス板の成形条件選定方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

**【発明の属する技術分野】** 本発明は、加熱されたガラス板の曲げ成形に関し、詳しくは、ガラス板を曲げ成形するにあたり、所定のガラス板の曲げ形状を得るために、シミュレーション演算を用いて実際の成形を行うことなく成形結果である曲げ形状を求めて、ガラス板の成形性予測、成形型の構成や成形時の各種パラメータ、成形手法などの成形条件の適性判断及び選定、ガラス板の曲げ形状の評価などを可能にするガラス板の曲げ形状を得る方法、ガラス板の評価方法及びガラス板の成形条件選定方法に関する。

**【0002】**

**【従来の技術】** 例えば自動車の窓用ガラス板など、曲面状のガラス板を形成する場合は、ガラス板を加熱して曲げ成形を施して所定の形状を得るようにしている。近年の自動車用リアガラスでは、図12に示す(A)の卵型、(B)のJベンド、(C)のサイド曲げ、(D)の逆反り、及びこれらを複合した形状など、難形状のガラス板が採用される機会が増加している。

**【0003】** このような難形状のガラス板を曲げ成形するには、平らなガラス板を深く曲げる必要があるため、成形時に不具合が発生する可能性が高くなる。しかし、従来は成形時の不具合の発生を予測することは困難であり、また実際に成形してみるまで所定の形状が得られるかどうか分からないことが多かった。所定形状に成形できるか否かを予測する成形性予測は、従来でもガラス板のデザイン形状のみによる予測方法は試みられていたが、成形型の形状や構造、或いは成形手法の違いなどを考慮した予測は行われていなかった。このため、成形型などの成形部材の構成や曲げ成形手法などは、経験的に判断して選択し、またこの成形部材や曲げ成形手法に関する各種データなどの成形条件については、所定形状が得られるまで実際に何度も試作を重ねて決定するような方法が採られていた。

**【0004】** 最近では、製品の開発期間短縮の傾向が強まってきており、新規形状の設計に迅速に対応するために、ガラス板の成形試作を行う回数や期間、及びコストを削減することが強く望まれている。

**【0005】**

**【発明が解決しようとする課題】** 上述したように、従来では、ガラス板を曲げ成形する際、所定形状に成形できるか否かや成形時の不具合発生などを正確に予測することは困難であった。したがって、成形部材の構成や曲げ

成形手法などについては経験に基づいて判断して選択しており、また成形部材や曲げ成形手法に関する各種データなどの成形条件については所定形状が得られるまで実際に何度も試作を重ねて決定する必要があった。このため、ガラス板の曲げ成形試作に必要な回数や期間、及びコストが増大し、新規形状の設計に迅速に対応できないなどの問題点があった。

【0006】本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、その目的は、実際に曲げ成形を行わなくてもシミュレーションによる成形途中履歴も含めた成形性予測が可能であり、また曲げ成形時に大きな問題となる形状偏差やしわの発生度合いを事前に評価でき、曲げ成形試作にかかる期間やコストを削減することが可能なガラス板の曲げ形状を得る方法、ガラス板の評価方法及びガラス板の成形条件選定方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、ガラス板を加熱して曲げ成形するにあたり、実際のガラス板の曲げ成形とは別に曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得るための方法であって、曲げ成形されるガラス板の形状、前記ガラス板の曲げ成形温度、前記ガラス板の物性値、前記ガラス板を曲げ成形するための成形部材に関するデータ、前記成形部材を用いたガラス板の曲げ成形手法に関するデータを含む成形条件を設定する成形条件設定ステップと、前記成形条件に基づいてシミュレーション演算を行い、演算結果として前記成形条件により曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得る演算ステップとを有するガラス板の曲げ形状を得る方法を提供する。

【0008】また、本発明は、ガラス板を加熱して曲げ成形するにあたり、実際のガラス板の曲げ成形とは別に曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得て、該ガラス板の曲げ形状を評価するガラス板の評価方法であって、曲げ成形されるガラス板の形状、前記ガラス板の曲げ成形温度、前記ガラス板の物性値、前記ガラス板を曲げ成形するための成形部材に関するデータ、前記成形部材を用いたガラス板の曲げ成形手法に関するデータを含む成形条件を設定する成形条件設定ステップと、前記成形条件に基づいてシミュレーション演算を行い、演算結果として前記成形条件により曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得る演算ステップと、前記得られた曲げ形状の情報に基づいてガラス板の形状偏差としわの発生度合いとを算出し、これらが許容値内か否かを判定してガラス板の曲げ形状を評価する評価ステップとを有するガラス板の評価方法を提供する。

【0009】また、本発明は、ガラス板を加熱して曲げ成形するにあたり、実際のガラス板の曲げ成形とは別にガラス板の曲げ成形条件を選定するガラス板の成形条件選定方法であって、曲げ成形されるガラス板の形状、前記ガラス板の曲げ成形温度、前記ガラス板の物性値、前記ガラス板を曲げ成形するための成形部材に関するデ

タ、前記成形部材を用いたガラス板の曲げ成形手法に関するデータを含む成形条件を設定する成形条件設定ステップと、前記成形条件に基づいてシミュレーション演算を行い、演算結果として前記成形条件により曲げ成形されるガラス板の曲げ形状を得る演算ステップと、前記得られた曲げ形状の情報に基づいてガラス板の形状偏差としわの発生度合いとを算出し、これらが許容値内となるように成形条件のうちの少なくとも成形部材に関する条件または成形手法を特定することによって適切な成形条件を選定する選定ステップとを有するガラス板の成形条件選定方法を提供する。この場合において、前記成形条件設定ステップにおいて、成形部材に関する条件と成形手法とを複数の組み合わせで設定し、前記選定ステップにおいて、設定した組み合わせの中から最適のものを選定することが好ましい。

【0010】上記成形部材に関するデータとしては、成形部材の形状、成形部材の仕様、ガラス板との接触時の摩擦係数、ガラス板との吸着強度などが含まれる。また、上記曲げ成形手法に関するデータとしては、成形手順、成形速度などが含まれる。また、実際のガラス板の曲げ成形とは別にガラス板の曲げ形状を得る場合としては、実際に曲げ成形する前、実際に曲げ成形の試作を試みたときなどが含まれる。

【0011】上記方法により、成形部材に関するデータ及び成形手法に関するデータなどを含む成形条件を用いたシミュレーション演算によって、実際のガラス板の曲げ成形とは別に、入力した成形条件により曲げ成形されるガラス板の曲げ形状が得られ、実際に曲げ成形を行うことなく成形可能か否かの成形性予測が可能となる。また、得られた曲げ形状の情報に基づいて、曲げ成形時に大きな問題となるガラス板の形状偏差やしわの発生度合いを実際の曲げ成形前に評価することが可能となる。また、実際の曲げ成形前に適切な成形条件を選定することが可能となるため、ガラス板の曲げ成形試作にかかる期間やコストが削減され、試作回数や期間の短縮、成形部材製作費用の低減などが実現可能となる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。まず初めに、本実施形態にかかるガラス板の曲げ成形装置及び曲げ成形手法の一例について簡単に説明する。図1はガラス板の曲げ成形を行う曲げ成形装置の概略構成を示す説明図、図2は曲げ成形時の成形部材とガラス板とを示す断面図である。ここでは、ガラス板を所定温度に熱する加熱炉の中で成形部材により曲げ成形を行う炉内成形の一例を示す。

【0013】図1に示すように、曲げ成形装置は、ガラス板12を加熱する加熱炉11の内部に、ローラコンベヤなどからなる搬送装置13と、成形型などの治工具からなる成形部材14とを備えている。また、加熱炉11の下流側外部には、成形後のガラス板12を急速冷却す

る冷却装置17が設けられる。成形部材14は、例えば上側に配置された曲面形状を有する雄型15と、下側に配置されたガラス板12の周辺部分のみを支持するリング型16とを有して構成される。

【0014】ガラス板の曲げ成形を行う際は、加熱炉11内部の加熱領域において平らなガラス板12を変形可能となる所定温度まで加熱し、搬送装置13によって成形部材14の成形位置へ搬送する。そして、図2に示すように、成形位置に位置決めされたガラス板12に対して、成形部材14の雄型15によりガラス板12を上方から押圧するとともに、リング型16によりガラス板12の周辺部分を下方から支持することにより、ガラス板12を所定形状に曲げ成形する。このとき、押圧するだけでは成形部材14とガラス板12とが密着しない場合は、吸引装置や送風装置を用いてガラス板12を雄型15に吸着させる。曲げ成形を行った後、ガラス板12を加熱炉11の外部に搬送し、冷却装置17によりガラス板12の表面を急速に冷却して強化処理を行う。

【0015】以上の手順により、所定の曲げ形状を有する強化ガラス板が形成される。このような曲げ成形を施したガラス板は、自動車のリアガラス、サイドガラス、フロントガラスなどの窓用ガラス板をはじめとして、各種用途に用いられる。

【0016】本実施形態では、上記のようなガラス板の曲げ成形を行うにあたり、実際の曲げ成形とは別に、例えば実際に曲げ成形する前とか、曲げ成形の試作を行ってみたときなどに、成形条件によってどのようなガラス板の曲げ形状が得られるかをシミュレーション演算によって求める。このシミュレーション演算を行うシミュレーション装置は、プロセッサを有してなるコンピュータなどを含む情報処理システムにより構成される。

【0017】図3はシミュレーション装置の概念的構成を示すブロック図である。図3の構成要素はコンピュータとその周辺機器、及びコンピュータ上で実行されるソフトウェアプログラムによって各機能が実現される。インターフェース部を含み各部の制御を行う制御部31、成形部材に関するデータ及び成形手法に関するデータなどを含む成形条件を設定する成形条件設定部32、前記成形条件に基づいてシミュレーション演算を行ってガラス板の曲げ形状を得る演算部33、前記シミュレーション演算により得られた曲げ形状の情報に基づいてガラス板の曲げ形状の評価を行う評価部34、データやコマンド等の入出力を行う入出力部35、演算結果や評価結果などの情報を表示する表示部36を有して構成される。

【0018】次に、上記のようなシミュレーション装置を用いて、所定の成形条件下での曲げ成形によって得られるガラス板の曲げ形状を求めるとともに、その曲げ形状の評価、最適な成形条件の選定などを行う曲げ成形シミュレーションの手順を説明する。図4は曲げ成形シミュレーションの手順を示すフローチャートである。

【0019】まず、曲げ成形により得ようとするガラス板の所定のデザイン形状をCADデータから得て、これをデザイン形状データとして入力する(ステップS1)。そして、前記デザイン形状を平面に展開し、曲げ成形される平板のガラス板の形状を示すガラス板メッシュモデルを作成する(ステップS2)。また、雄型及びリング型などの成形部材の形状を示す成形部材メッシュモデルを作成する(ステップS3)。このとき、実際に用いる成形手法を想定してメッシュモデルを作成するが、候補となる成形手法や成形部材の構成が複数ある場合、それぞれモデル化を行う。なお、図2に示したような水平プレスによる曲げ成形を想定した場合は、成形後の自重サグ量(ガラス板の自重によって生じる湾曲量)を考慮して、成形部材におけるガラス接触面の曲面形状を補正する。

【0020】さらに、上記のガラス板と成形部材の形状以外の成形条件を設定し、これらの成形条件を曲げ成形シミュレーション用入力データとして入力する(ステップS4)。ここで、曲げ成形されるガラス板の形状としては、平面展開形状とともに板厚が重要である。ガラス板に関する成形条件としては、形状の他に、ガラス板の曲げ成形温度、ガラス板の物性値などのデータを用いる。ガラス板の物性値には、粘弾性を表す力学的物性値として、ヤング率、ポアソン比などを用いる。

【0021】成形部材に関する成形条件としては、形状の他に、成形部材の仕様(リング型に割を設けるか否かなど)、ガラス板との接触時の摩擦係数、ガラス板との吸着強度などのデータを用いる。なお、成形部材の形状や仕様によって、ガラス板の成形部材に対する当接順序や当接具合などが異なる。また、曲げ成形手法に関する成形条件としては、成形手順、成形速度などのデータを用いる。成形手順には、ガラス板をリング型で受けて少し自重で湾曲させてから雄型でプレスする、これとは逆にガラス板を先に雄型へ当接させてからリング型で支持する、ガラス板の成形部材への当接時に吸引などで密着させる、などの手順が含まれる。これらの成形条件の入力は、コンピュータにおいて対話入力形式によって行う。

【0022】次に、入力された成形条件に基づいて、シミュレーション演算を行い(ステップS5)、成形されたガラス板の曲げ形状に関するデータを曲げ成形シミュレーションの出力データとして得る(ステップS6)。出力データとしては、例えばガラス板メッシュの各格子点の変位を算出する。このシミュレーション演算には、有限要素法に基づく解析演算ソフトウェアプログラムを用いる。より具体的には、成形温度域における被成形物体(ここではガラス板)の粘弾性物性を取り扱い、プレス工程のような押圧による成形過程における被成形物体と成形部材との接触解析を行うことのできる解析演算ソフトウェアプログラムを用いる。この条件を満たすもの

であれば、汎用のソフトウェアプログラムを適宜用いても差し支えない。

【0023】そして、得られた出力データに基づいて、ガラス板の曲げ形状に関する所定のデザイン形状との形状偏差、及びしわの発生度合いを算出する（ステップS7）。本実施形態では、ガラス板の曲げ形状を評価するための評価データとして、所定のデザイン形状にどれだけ一致しているかを示す形状偏差と、ガラス板表面のうねり具合を示すしわの発生度合いとを求めて評価を行う。

【0024】平らなガラス板を曲げ成形する場合、成形過程におけるガラス板の伸縮具合によって主にガラス板周辺部にしわが発生することがある。このようなしわは、特に卵型形状などの難形状の曲げ成形を行ったときに顕著に現れる。ガラス板のしわは、反射像や透過像の歪みなど、光学像の悪化というガラス品質上の大きな欠点につながるため、予めどの位置にどの程度のしわが発生するかを算出して対策を打っておくことは試作回数の低減に大きく貢献する。

【0025】ここで、しわの発生度合いの算出方法を図5を用いて説明する。しわの発生度合いは、シミュレーション演算により求めた成形後の曲げ形状を示すガラス板メッシュの各区域において算出する。ガラス板メッシュの一つの区域について、この原曲面41の関数及びその四角（メッシュの格子点）における法線42a、42b、42c、42dを求め、これらの4つの法線42a～42dの等距離延長上に参照曲面43を作成する。そして、原曲面41の対角線L1、L2の比と参照曲面43の対角線L1'、L2'の比とを比較して、しわの発生度合いWを次式より求める。

【0026】

【数1】

$$W = \left| \frac{\frac{L2'}{L1'}}{\frac{L2}{L1}} - 1 \right| \times 100 \quad \dots(1)$$

【0027】ガラス板メッシュの一つの区域において、しわが発生していない場合は、4つの法線42a～42dの方向がほぼ同じで略平行となり、原曲面41の対角線の比と参照曲面43の対角線の比とがほぼ同一となるため、しわの発生度合いWはほぼ0となる。逆に、しわが発生して曲げ形状にうねりがある場合は、4つの法線42a～42dの方向がばらつくため、原曲面41の対角線の比と参照曲面43の対角線の比とに差が生じ、しわの発生度合いWが大きくなる。

【0028】このように求めたしわの発生度合いの値によって、ガラス板の曲げ形状のうねり具合（滑らかさ）を定量的に判定できる。また、形状偏差の値によって、入力した成形条件による曲げ成形を行った場合に、デザ

イン形状に一致した曲げ形状が得られるか否かを判定できる。これらの値は、実際の成形手法や成形部材の形状などの成形条件を決定する上で非常に有益な情報となる。

【0029】なお、本実施形態の曲げ成形シミュレーションにおいては、成形途中でのガラス板メッシュ及び成形部材メッシュの各格子点における変位なども求めることができる。この成形過程のデータに基づいて、ガラス板と成形部材との接触状況の時系列変化などを確認できるため、成形部材への密着性、成形部材が当たったり擦ったりしたときの型跡や傷の発生具合などを判定可能である。また、ガラス板の曲げ形状から反射像や透過像の歪みなどの光学的特性値を求めて評価を行うこともできる。さらに、シミュレーション演算によって成形過程における応力を算出することも可能である。応力のデータからは、ガラス板にかかる応力が許容値を超えて成形途中でガラス板が割れないかなど、成形時の不具合の有無を判定することができる。

【0030】次いで、算出した形状偏差及びしわの発生度合いの値を用いて、ガラス板の曲げ形状の評価を行う（ステップS8）。この場合、それぞれの値が許容範囲内か否かを判定し、許容範囲内であれば以降のステップに進む。一方、許容範囲外である場合は、ステップS2に戻り、成形条件の一部を変更して再度シミュレーション演算を行い、得られるガラス板の曲げ形状の形状偏差及びしわの発生度合いが許容範囲内となるまで繰り返す。

【0031】なお、曲げ成形が困難なデザイン形状については、成形条件における各データの値を単に変更するだけでは許容範囲内に収まらない場合もあるため、この場合は許容範囲内に収まるような成形手法と成形部材の組み合わせを適宜選択し、他の成形条件を設定するようにする。

【0032】ステップS8において、形状偏差及びしわの発生度合いの値が許容範囲内である場合は、この曲げ成形シミュレーションにおいて入力した成形条件が適切なものであると判断し、成形手法及び成形部材をはじめとした実際の成形条件を決定する（ステップS9）。そして、決定した成形条件に沿って、実際に成形部材を作成し（ステップS10）、実際のガラス板の曲げ成形を行う（ステップS11）。なお、許容範囲内に収まる成形手法と成形部材の組み合わせが複数ある場合は、最も適切な組み合わせを選択して成形条件を決定する。

【0033】図6ないし図11に上記方法を用いた曲げ成形シミュレーションの例を示す。ここでは、成形が困難であることが予想される卵型形状の曲げ成形を想定した。成形手法としては、雄型の全面モールドとリング型とを用いた水平プレス方式を想定した。卵型形状のような曲げの深い形状を成形する場合、リング型の設計としては、曲がりの深い部分を分割可動構造にするための割

を使用するか否かという選択肢がある。従来では、この選択は経験と勘で決定されることが多かったが、その選定も含めて曲げ成形シミュレーションによって評価を行うこととした。以下に、第1例として成形部材に割を用いない場合、第2例として成形部材に割を用いた場合のシミュレーション結果をそれぞれ示す。なお、これらの例では、ガラス板の対称性を考慮し、ガラス板全体のうちの1/2の形状でシミュレーションを行った。

【0034】図6ないし図8は第1例に係るシミュレーション結果を示したもので、図6はガラス板及び成形部材のメッシュモデル、図7はガラス板の曲げ形状におけるデザイン形状との形状偏差、図8はガラス板の曲げ形状におけるしわの発生度合いをそれぞれ示す説明図である。図6のようにガラス板メッシュモデル51、雄型メッシュモデル52、リング型メッシュモデル53を作成し、他の成形条件を設定入力してシミュレーション演算を行った結果、成形後の曲げ形状のデータから図7に示す形状偏差分布及び図8に示すしわの発生度合分布が得られた。

【0035】図7において、濃度の高い領域55が形状偏差の大きな領域であり、成形部材に割を設けない場合は、成形時にガラス板が雄型に完全に吸着されなくて、得られる曲げ形状の形状偏差が大きい部分があることがわかる。また、図8において、濃度の高い領域56がしわの発生度合いの大きな領域であり、この場合はしわに関しても発生する度合いが高いことがわかる。

【0036】図9ないし図11は第2例に係るシミュレーション結果を示したものである。第2例では、リング型において端部の曲げの深い部分に割74を設定した。第1例と同様に、図9のようにガラス板メッシュモデル71、雄型メッシュモデル72、リング型メッシュモデル73を作成し、他の成形条件を設定入力してシミュレーション演算を行った結果、成形後の曲げ形状のデータから図10に示す形状偏差分布及び図11に示すしわの発生度合分布が得られた。

【0037】図10及び図11の結果より、リング型に割を設けた場合は、所定のデザイン形状からの形状偏差はほとんど無く、また、しわの発生度合いも小さく、良好な曲げ形状が得られることがわかる。

【0038】また、成形部材に割を用いない場合と用いた場合の二つの成形条件で、実際の曲げ成形によって試作を行って見たところ、シミュレーション結果と同様に、割を用いない場合は所定のデザイン形状を得ることは困難であったのに対し、割を用いた場合は比較的容易に良好な曲げ形状を得ることができ、品質の良いガラス板が得られることが確認された。

【0039】上述したように、本実施形態では、所定のガラス板のデザイン形状、及び曲げ成形手法に応じた成形部材を設定し、その他の曲げ成形に関する成形条件を設定した後、シミュレーション演算を行ってガラス板の

曲げ形状に関するデータを得て、所定のデザイン形状からの形状偏差及びしわの発生度合いなどの評価データを算出することにより、その成形条件によってどのような曲げ形状が得られるかを事前に確認することができる。

【0040】このため、実際に曲げ成形を行う前に、曲げ成形手法や成形部材による成形性の違いなどの成形性予測、成形時の不具合の発生予測、及び成形によって得られるガラス板の品質評価などを曲げ成形シミュレーションによって行うことができる。また、曲げ成形シミュレーションの結果をフィードバックすることにより、最適な成形手法と成形部材の特定、及びその他の成形条件の選定を行うことができ、所望の形状のガラス板を容易に得ることが可能である。さらに、試作期間の短縮と成形部材の製作コストの削減が実現できる。

【0041】本発明は、上記実施形態に限定されない。例えば、本発明の各方法は、種々のガラス板の曲げ成形装置を用いたガラス板の曲げ成形方法に適用できる。すなわち、上記実施形態におけるガラス板の曲げ成形装置は、下に凸形状の雄型にガラス板の上面を当接させているが、逆に上に凸形状の雄型にガラス板の下面を当接させるガラス板の曲げ成形方法、装置も例示できる。

【0042】また、しわの発生度合いの評価にあたっては、うねり具合の定量化の他に、種々の観点により定量化すべき指標を適宜選択できる。この場合、先に述べた式(1)によるしわの発生度合いWの他に、適宜の式によりしわを定量化する。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、実際に曲げ成形を行わなくてもシミュレーションによる成形途中履歴も含めた成形性予測が可能であり、また曲げ成形時に大きな問題となる形状偏差やしわの発生度合いを事前に評価でき、曲げ成形試作にかかる期間やコストを削減することが可能となる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】ガラス板の曲げ成形を行う曲げ成形装置の概略構成を示す説明図である。

【図2】曲げ成形時の成形部材とガラス板とを示す断面図である。

【図3】シミュレーション装置の概念的構成を示すブロック図である。

【図4】曲げ成形シミュレーションの手順を示すフローチャートである。

【図5】しわの発生度合いの算出方法を示す説明図である。

【図6】曲げ成形シミュレーションの第1例に係るガラス板及び成形部材のメッシュモデルを示す説明図である。

【図7】曲げ成形シミュレーションの第1例に係るガラス板の曲げ形状におけるデザイン形状との形状偏差を示す説明図である。

【図8】曲げ成形シミュレーションの第1例に係るガラス板の曲げ形状におけるしわの発生度合いを示す説明図である。

【図9】曲げ成形シミュレーションの第2例に係るガラス板及び成形部材のメッシュモデルを示す説明図である。

【図10】曲げ成形シミュレーションの第2例に係るガラス板の曲げ形状におけるデザイン形状との形状偏差を示す説明図である。

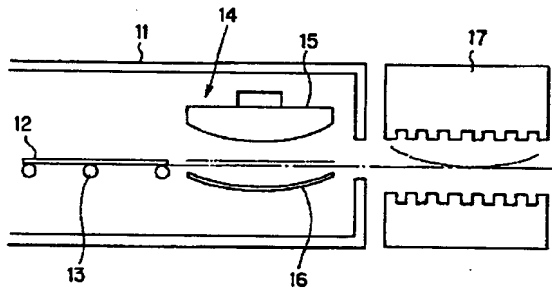
【図11】曲げ成形シミュレーションの第2例に係るガラス板の曲げ形状におけるしわの発生度合いを示す説明図である。

【図12】ガラス板の曲げ成形における難形状を示す説明図である。

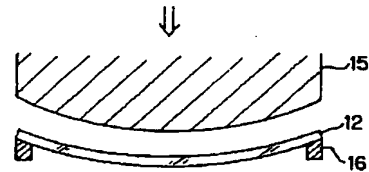
【符号の説明】

- 11 加熱炉
- 12 ガラス板
- 13 搬送装置
- 14 成形部材
- 15 雄型
- 16 リング型
- 17 冷却装置
- 31 制御部
- 32 成形条件設定部
- 33 演算部
- 34 評価部
- 35 入出力部
- 36 表示部

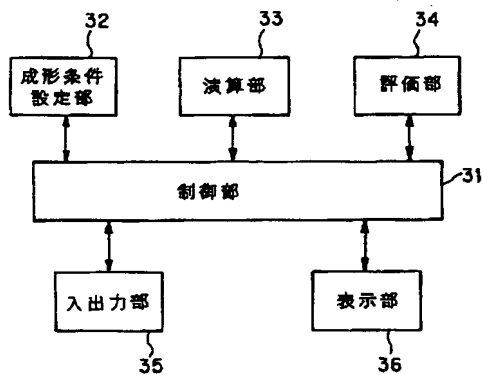
【図1】



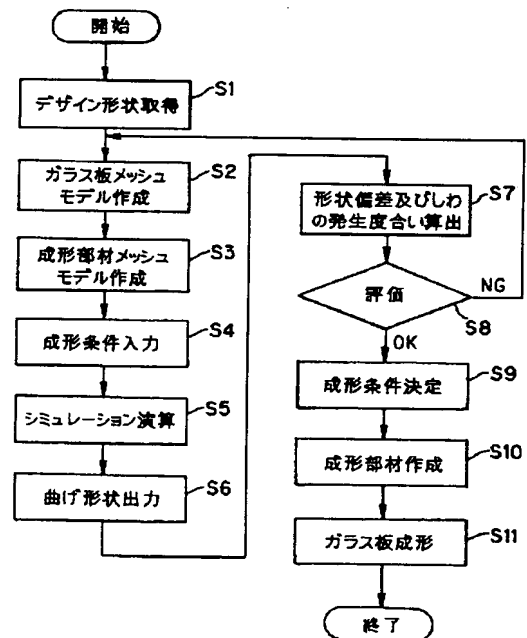
【図2】



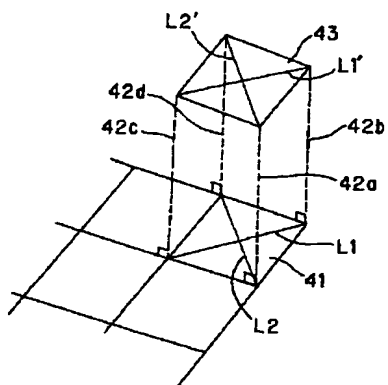
【図3】



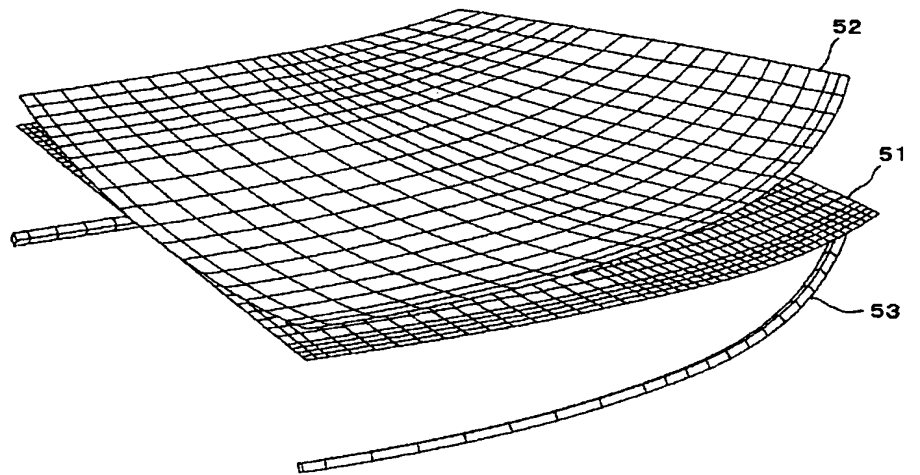
【図4】



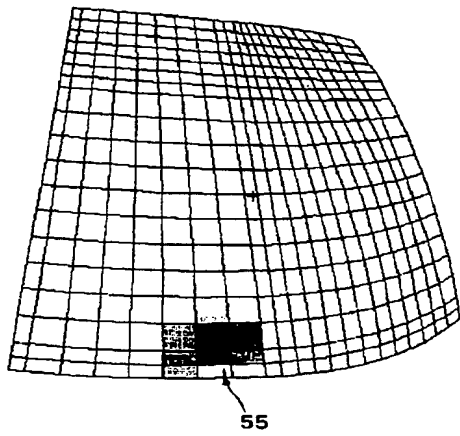
【図5】



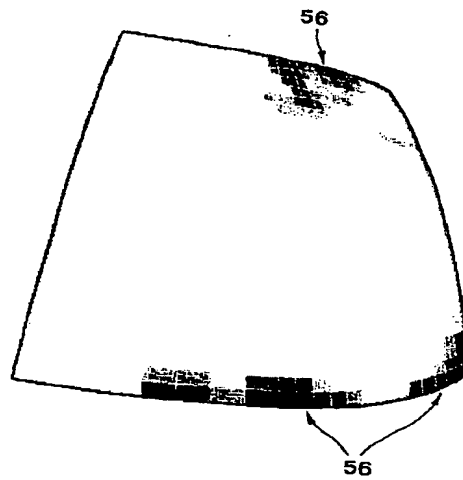
【図6】



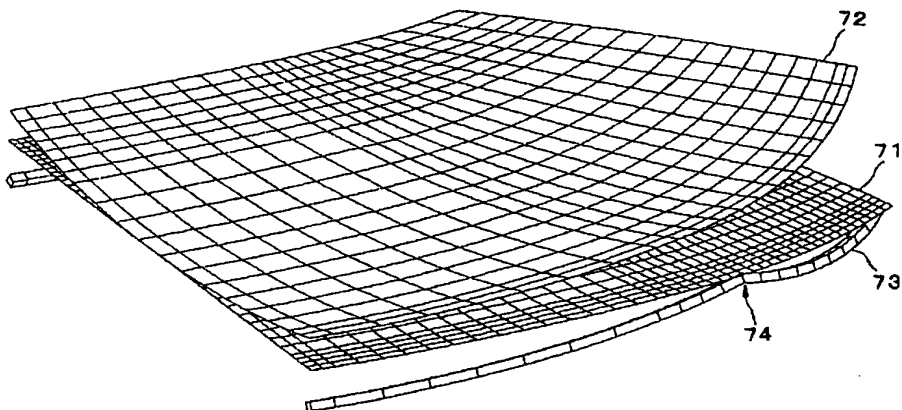
【図7】



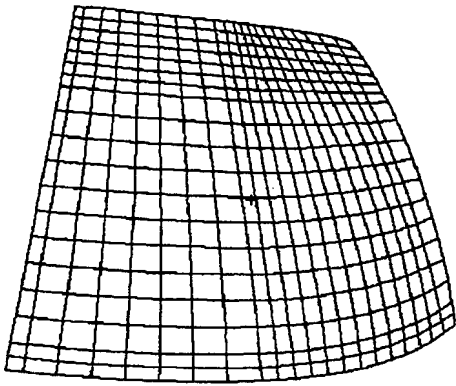
【図8】



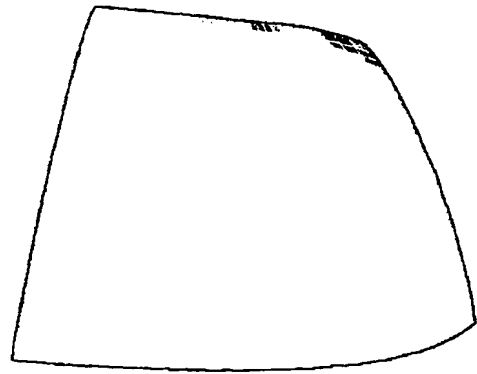
【図9】



【図10】



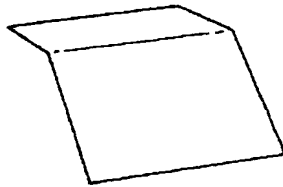
【図11】



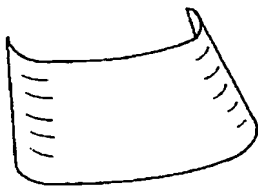
【図12】



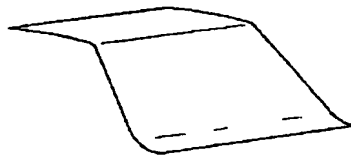
(A)



(B)



(C)



(D)